

Tiempo yClima

ABRIL 2017 Nº 56



REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y BOLETÍN
de la Asociación Meteorológica Española

- 3 **PRESENTACIÓN**
- 4 **ACTIVIDADES AME:** Reunión anual;
Elecciones a la Junta Directiva; Concursos
- 7 **POLOS OPUESTOS:** Castillo de naipes
- 8 **PERFILES:** Josep Pascual Massaguer
- 12 **FOTOGRAFÍA:** Doce imágenes del concurso
Meteo-reportaje'2016 y las fotos del invierno
- 16 **CRÓNICA DEL TIEMPO:** El invierno
- 22 **LA IMAGEN DEL INVIERNO:** Precipitaciones
torrenciales en Málaga del 19/II/2017
- 24 **MIRANDO UN MAPA:** 13/III/2017.
Inundaciones en Alicante
- 26 **TRAZAS DE LA TEMPERIE:** Una nevada
vista por el sensor de tiempo presente de una EMA
- 36 **NOTICIAS:** Influencia del cambio climático
en la circulación atmosférica planetaria; "El Niño
costero"; Los ordenadores del CEPPM se
trasladarán probablemente a Italia
- 52 **LIBROS:** *Father Benito Viñes*,
de Luis E. Ramos Guadalupe
- 56 **CONGRESOS:** 10º Simpósio de Meteorologia
e Geofísica da AMPG; XXII Jornades Eduard
Fontserè; El Día Meteorológico Mundial;
Próximas citas

COLABORACIONES

- 28 Las Trombas Marinas de Sant Feliu
de Guíxols (2/IX/1965) y Málaga (8/III/1971)
entre las más mediáticas del
siglo XX (parte I), *por José María Sánchez-Laulhé,
Juan Pérez-Rubín y Joan Arús*
- 33 Recuperando la memoria. Homenaje a
una mujer de ciencia española: Martina
Casiano Mayor, *por Asunción Pastor Saavedra*
- 44 La figura de Benet Viñes,
por Alberto Linés Escardó

Portada: *Tras un salto desde las laderas del Teide, una gloria acompaña la sombra del parapente sobre el mar de nubes.*

Fecha: 30 de enero de 2017

Autor: Roberto Porto Mata

Contraportada:
Amanecer en el valle de Pineta (Bielsa, Huesca), con niebla retenida en el fondo del valle y más de 2000 metros de desnivel hasta las cimas de las montañas que lo circundan. Fecha: 27 de noviembre de 2016 Autor: Chabier Lozano Sierra.

EDITA:

ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA ESPAÑOLA

DIRECTOR:

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ OLLERO

REDACCIÓN:

ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO
ASUNCIÓN PASTOR SAAVEDRA
FERNANDO AGUADO ENCABO
MANUEL PALOMARES CALDERÓN
ALEJANDRO ROA ALONSO
RAMÓN PASCUAL BERGHAENEL

DIRECCION POSTAL:

REVISTA TIEMPO Y CLIMA
APARTADO 60025
28080, MADRID

WEB: PKP.AME-WEB.ORG

REVISTA DE DIFUSIÓN GRATUITA
ENTRE LOS SOCIOS DE LA AME.
**SUSCRIPCIONES POR ENCARGO
EN PÁGINA WEB.**
PRECIO DE LA SUSCRIPCIÓN
ANUAL 2017: 28 EUROS
DISEÑO: ALFREDO NIÑO
IMPRESO EN ESPAÑA POR AEMET,
UNIDAD DE DOCUMENTACIÓN
DEP. LEG: M-10961-1976
EDICIÓN IMPRESA:
ISSN: 2340-6607
EDICIÓN DIGITAL:
ISSN: 2340-6631

COLABORACIONES:

SE INVITA A ENVIAR
CONTRIBUCIONES Y
CORRESPONDENCIA RELATIVA
A TODOS LOS ASPECTOS DE LA
METEOROLOGÍA, CLIMATOLOGÍA Y
CIENCIAS AFINES

LA RESPONSABILIDAD POR
LAS OPINIONES VERTIDAS
EN DICHAS CONTRIBUCIONES
ES EXCLUSIVAMENTE DE SUS
AUTORES.

Las Trombas Marinas de Sant Feliu de Guíxols (2/IX/1965) y Málaga (8/III/1971):

ENTRE LAS MÁS MEDIÁTICAS DEL SIGLO XX (PARTE I)

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ¹, JUAN PÉREZ-RUBÍN², JOAN ARÚS³

El artículo, debido a su extensión, se publicará en dos partes en números consecutivos de Tiempo y Clima. En esta primera parte, tras una introducción con descripción de las fuentes históricas consultadas y el escenario climático de los años de ocurrencia de ambas trombas, se centra en la de Sant Feliu de Guíxols.

Paradójicamente, aunque ambos fenómenos excepcionales tuvieron en su día una destacada repercusión periodística nacional e internacional, no hemos encontrado referencias concretas a esas trombas en ninguna de las publicaciones periódicas del antiguo Servicio Meteorológico Nacional y los datos básicos divulgados actualmente son escasos y confusos. Hasta hace unos años, a pesar de evidencias documentales como las que aquí presentamos, no había conciencia general de la existencia de tornados en España, ni proyectos de AEMET para estudio de estos fenómenos. Los estudios sobre estos fenómenos surgieron de iniciativas personales, entre las que destaca el persistente y valioso trabajo realizado por Miquel Gayà durante años. Hoy en día, la intensa ocupación de la costa, la generalización de los seguros y, sobre todo, la abundante información gráfica de estos fenómenos recogida por los teléfonos móviles han cambiado completamente esta percepción y ha dado lugar a unos primeros estudios climatológicos (Gayà, 2011⁴ y 2015⁵, Riesco et al., 2015⁶).

En la figura 1 se muestra la distribución de tornados y trombas marinas observadas en España salvo Canarias, entre 2003 y 2012, extraída de la *Climatología de Tornados en España peninsular y Baleares*³. Sus autores consideran como trombas a aquellos vórtices tornádicos que se observan primero en el mar, aunque luego se internen tierra adentro. Como se puede apreciar, la mayoría de las observaciones en las zonas costeras son trombas marinas, y posiblemente muchos de los calificados como tornados hayan tenido una procedencia marítima no observada, y además hay una gran diferencia de frecuencia de tornados entre la costa norte y la costa mediterránea. Para su formación es imprescindible la existencia de una columna de aire con rotación en la vertical y movimientos ascendentes, normalmente asociados al desarrollo de cúmulos congestus, que produzcan el estiramiento de la columna y, por conservación del momento angular, la aceleración de la rotación. La zona costera es un lugar muy propicio para la existencia tanto de rotación (misociclones que son mesovórtices de unos 2 km de diámetro generados por la cizalladura horizontal del viento) como de movimientos verticales por convergencia de vientos.



Figura 1. Tornados y trombas marinas observadas en España, salvo Canarias, entre 2003 y 2012. Fuente: *Climatología de Tornados en España peninsular y Baleares* de Riesco et al. (2015).

Las dos trombas marinas tratadas en este trabajo estuvieron localizadas casi en los extremos geográficos de la costa mediterránea peninsular; dos tramos de costa muy afectadas por la presencia inmediata de importantes pasillos por los que el aire entra al Mediterráneo o escapa de él en niveles bajos. La Costa Brava presenta una forma convexa, y al norte del cabo de Begur está muy expuesta a los abanicos de expansión que genera el predominante viento frío del norte que penetra en el Mediterráneo por el golfo de León, dando lugar a un mínimo de frecuencia de trombas al norte de dicho cabo. Por el contrario, al sur de éste se encuentra la zona de mayor frecuencia de trombas y tornados de la Península. La situación en la costa próxima al Estrecho de Gibraltar es muy distinta, pues no hay un fuerte predominio del poniente o del levante, y además la costa mediterránea inmediata es cóncava por lo cual la distribución geográfica de la frecuencia de las trombas marinas en la Costa del Sol es más compleja. En la figura 2 debida a Arús se muestra en

¹AEMET, Málaga. ²Centro Oceanográfico de Málaga (IEO) ³AEMET, Barcelona.

⁴Gayà M., 2011: Tornadoes and severe storms in Spain. *Atmospheric Research*, 100: 334-343.,

⁵Gayà, M., 2015: Els Fiblons a Espanya. *Climatologia i catàleg de tornados i trombes*. Edicions Uib.

⁶Riesco, J. et al., 2015: Climatología de tornados en España Peninsular y Baleares. http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/climatologiadetornados...et al.

detalle la distribución de tornados y trombas por comarcas en Cataluña durante el periodo 1994-2016 donde es destacable el máximo secundario que aparece en la zona del Baix Empordà, muy probablemente relacionado con la zona de convergencias del nordeste de Cataluña.



Figura 2. Tornados y trombas marinas en Cataluña entre 1994 y 2016, distribuidos por comarcas (Joan Arús).

Realizamos una reconstrucción histórica a partir de la documentación de antiguas publicaciones meteorológicas oficiales y analizamos la información que llegó a la sociedad a través de tres periódicos representativos (diarios *La Vanguardia*, *ABC* y *SUR*), aunque erraron en la datación de las trombas. Tratamos de establecer las características de ambas con la documentación histórica, los conocimientos actuales sobre estos fenómenos y la información adicional que nos puedan aportar los reanálisis meteorológicos.

En España las dos trombas podrían enmarcarse en torno a los diez años consecutivos más fríos del periodo 1951-1990 (mínimas temperaturas medias del aire durante 1966-1975). También los “años agrícolas” concretos de esos torbellinos marinos de 1965 y 1971 coincidieron en su carácter de “muy tormentosos” (tronó en torno al 89,5 % de los días del año), aunque la siniestralidad por rayo únicamente fue alarmante para la sociedad en 1971, pues resultaron fulminadas 47 personas.

Igualmente, la gran frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos de ese último año en la Península se observó a una mayor escala geográfica: tanto en relación a la génesis de huracanes en el Atlántico tropical noroccidental (cuatro huracanes entre los doce ciclones tropicales contabilizados), como en el número de tornados destructivos sufridos en Europa (tres de categorías F4 y F3).

FUENTES HISTÓRICAS CONSULTADAS

Nos han resultado particularmente útiles las hemerotecas digitales de los diarios *ABC* (Madrid) y *La Vanguardia* (Barcelo-



Figura 3. Sectores de las portadas de los diarios *La Vanguardia* (martes 7/IX/1965) y *SUR* (miércoles 10/III/1971), con las noticias ilustradas de sus respectivas trombas locales.

na), junto con la abundante documentación histórica del Servicio Meteorológico Nacional accesible en la web de la AEMET en formato digital⁷. Concretamente disponemos para ambos años 1965 y 1971 del *Boletín Diario*, del *Boletín Mensual Climatológico* y del popular *Calendario Meteorofenológico*; así como desde 1966 del *Resumen Anual del Boletín Diario*, de interés más limitado por su confección urgente.

Para el caso concreto malagueño hemos contado con el informe inédito del predictor aeronáutico Quinto Cheli Briales sobre la evolución del tiempo en el área durante los días 1-8 de marzo de 1971⁸, estudio conservado en la Oficina Meteorológica del Aeropuerto de Málaga.

LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS DE 1965 Y 1971

Ambas trombas podrían enmarcarse en torno a los diez años consecutivos más fríos que destacaba E. Martín en su estudio del periodo 1951-1990 español⁹. Y, al menos la de Málaga, se formó en un cuatrienio durante el cual las temperaturas superficiales del mar en el área resultaron especialmente bajas: particularmente en los años 1969 y 1972¹⁰. Enfriamiento del agua superficial del mar de Alborán que actualmente sabemos también afectó al Atlántico Norte, entre la segunda mitad de la década de los años 60 y el principio de los 70¹¹, y que “probablemente tuvo relación con las bajas temperaturas medias en nuestro país en ese periodo”¹².

Si comparamos los años particulares de esas trombas españolas en relación a la génesis de huracanes en el Atlántico y de tornados destructivos en Europa nos encontramos con que el año 1965 fue de mucha menor actividad en ambos casos que 1971. Concretamente, según la NOAA, durante 1965 en el Atlántico noroccidental, con solo seis ciclones tropicales generados

⁷<http://www.aemet.es/es/conocer/mas/biblioteca/boletines>; http://www.aemet.es/es/conocer/mas/recursos_en_linea/calendarios. Y Repositorio ARCIMIS (<http://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/618>)

⁸Cheli Briales, Quinto. 1971: *Esquema-Monografía de la situación general y evolución del tiempo del 1 al 8 de marzo de 1971. Sus efectos en el Área de Málaga. Temporal del 8 de marzo de 1971 (lunes) en Málaga*. 16 páginas. Repositorio ARCIMIS <http://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/6267>

⁹Martín, E. 1991: La cálida década de los ochenta. *Calendario Meteorológico* de 1991: 215-217.

¹⁰Fernández de Castillejo, F. 1975: Variaciones estacionales de temperatura a lo largo del litoral meridional de la península Ibérica. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 187: 53 páginas.

¹¹Hodson, D. L. R., J. I. Robson y R. T. Sutton. 2014: An Anatomy of the Cooling of the North Atlantic Ocean in the 1960s and 1970s. *Journal of Climate*, 27: 8229-8243.

¹²Anónimo. 2014: Buscando explicación al enfriamiento del Atlántico Norte en las décadas de los 60 y los 70. Reseña de *Tiempo y Clima*, sección Noticias.

Las Trombas Marinas de Sant Feliu de Guíxols (2/IX/1965) y Málaga (8/III/1971):

(cuatro con intensidad de huracán), fue de los menos activos de la serie histórica, pues la media anual en las tres décadas anteriores era de diez ciclones tropicales anuales¹³; y en dicho año únicamente se registró un tornado potente (en Italia, de probable categoría F3)¹⁴. Situación que contrasta con la registrada durante 1971 en las mismas áreas: se contabilizaron doce ciclones tropicales (cinco huracanes) en el Atlántico NO¹⁵ y tres potentes tornados en Europa (categorías F4 y F3)¹⁶.

Por el contrario mostraron similitudes los “años agrícolas” españoles de 1965-66 y 1970-71, calificables como “muy tormentosos” por su persistente actividad eléctrica atmosférica durante 329-326 días (tronó el 90-89 % de los días del año)¹⁷; aunque la siniestralidad por rayo fue mucho mayor en 1970-71 (resultaron fulminadas 47 personas)¹⁸ que en 1965-66 (un fallecido en Vilanova i la Geltrú¹⁹).

Por otro lado, los meses concretos en los que se produjeron estos violentos vórtices marinos coincidieron en haber sido más fríos de lo normal en toda España, con lluvias particularmente intensas en Cataluña (1-4/IX/1965), contrastando con tiempo seco en la mayor parte de la Península²⁰ o generalizadas en casi todas las regiones (7-9/III/1971), con destacadas tormentas en la costa e interior de la provincia de Málaga²¹.

[1965] LA TROMBA DE SANT FELIU DE GUÍXOLS

Los diarios *La Vanguardia* y *ABC* se hicieron eco el domingo 5/IX/1965 de las circunstancias de la tromba catalana. El primero, en la noticia redactada por “el departamento meteorológico” del propio periódico, describe el “inusitado fenómeno atmosférico” como una “enorme tromba o columna de agua de mar, que se alza hasta unos 100 metros, girando sobre su eje”. Erróneamen-

te da a entender que se produjo el día 4 de septiembre “a últimas horas de la tarde” y no se tuvieron noticias de daños humanos ni materiales. El día real en que se presentó la tromba (2/IX/1965), ese diario catalán había constatado que “a primeras horas de la tarde se registraron unos chubascos tormentosos en la mitad costera de la región, que dieron 50 litros de agua/m² en Villanueva y la Geltrú, 30 en Gerona, 25 en Barcelona capital...”; y que la noche anterior penetró un sistema frontal procedente de Francia “que franqueó la entrada a una corriente de aire polar que ha refrescado bastante la temperatura”²².

En ese sector del litoral de la Costa Brava recibió la tromba una enorme expectación popular: “Numerosos curiosos se trasladaron hasta la misma orilla de la mar para no perderse detalle. Los pescadores manifestaron que recordaban haber visto [en otras ocasiones] la formación simultánea de siete trombas, pero nunca en lugar tan cercano a la costa”²³. La fotografía del fenómeno “reciente” (sin concretar la fecha) apareció en la portada del día 7/IX/1965 y afirmándose en el pie que se había originado en Sant Feliu: “He aquí una nota gráfica de la impresionante tromba marina que se formó recientemente en la bahía de Sant Feliu de Guíxols, y que, a pesar de su gran tamaño y de la gran cantidad de agua que aspiraba, no produjo desgracias personales ni materiales (Foto García Matz)”.

Aquel día 5/IX/1965 *ABC* incluía la descripción del meteorólogo José Sánchez Egea sobre la mejoría del estado del tiempo, tras una semana de lluvias en el área. Sin embargo, discrepaba este periódico sobre el lugar de origen del torbellino marítimo: aparentemente apareció “en la parte de Tossa” (Tossa de Mar) y en su trayectoria se dirigió hacia Palamós (al norte), recorriendo el litoral hasta su desintegración al NE de Sant Feliu de Guíxols, poco antes de llegar a la bahía de Sant Pol²⁴...

¹³Sugg, A. L. 1966: The Hurricane season of 1965. *Monthly Weather Review*, 94 (3): 183-191.

¹⁴https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_European_tornadoes_and_tornado_outbreaks

¹⁵Simpson y Hope. 1972: Atlantic Hurricane Season of 1971. *Monthly Weather Review*, 100 (4): 256-275.

¹⁶https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_European_tornadoes_and_tornado_outbreaks

¹⁷Véanse respectivamente los Calendarios Meteoro-Fenológicos editados en 1967 (‘Año Agrícola’ sept. 1965-agosto 1966) y 1972 (sept. 1970-agosto 1971).

¹⁸*Calendario Meteoro-Fenológico de 1972* (‘Año Agrícola’: sept. 1970-agosto 1971).

¹⁹*Calendario Meteoro-Fenológico de 1967* (‘Año Agrícola’: sept. 1965-agosto 1966).

²⁰Septiembre de 1965: “Las temperaturas fueron, en general, más bajas que las normales [...]. Durante la primera decena del mes dominaron los vientos de componente Norte y hubo chubascos abundantes en la vertiente Cantábrica, Galicia, cabecera del Ebro y más aislados en Cataluña, mientras que en el resto de la Península el tiempo fue seco [...]. Días 1 y 4: El día 1 penetra un frente frío por el Norte, con brusco y sensible descenso de la temperatura, que barre toda la Península y produce lluvias intensas en Cataluña. El día 4 penetra otro frente frío que produce precipitaciones en la vertiente Cantábrica, Galicia, Alto Ebro y Cataluña; con nuevo descenso térmico aunque menos acusado que el anterior [Boletín Mensual Climatológico, nº 9. Sept. 1965].

²¹Marzo de 1971: “Casi normal en lluvia y sol. Muy frío”. “Las temperaturas fueron en su mayoría de 3 a 4 grados inferiores a los valores normales” [Resumen Anual (1971) del Boletín Diario]. Mes calificado de “muy frío” con temperaturas excepcionalmente bajas durante los días 7-9 marzo, y se registran precipitaciones en casi todas las regiones. El día 8 tormentas generalizadas en la provincia de Málaga (Algarrobo, Alhaurín de la Torre, Almogía, Antequera, Coin, Fuengirola-Faro, Istán y Málaga-Rompedizo) [Boletín Mensual Climatológico, nº 3. Marzo 1971].

²²*La Vanguardia*, 2/IX/1965, página 6.

²³*La Vanguardia*, 5/IX/1965 “Impresión” (Redactada por el departamento meteorológico de *La Vanguardia*): “Inusitado fenómeno atmosférico en la Costa Brava” [el 4/IX/1965]. La jornada de ayer [día 4] transcurrió con buen tiempo en toda nuestra región. Los vientos Norte rotaron del Sur y este cambio produjo un ligero aumento de las temperaturas y paralelamente se fue enturbiando la atmósfera, produciéndose alguna nubosidad. La carta de isóbaras presenta al anticiclón de las Azores de nuevo conectado con las zonas polares de Islandia y por tanto introduciendo aire frío por el norte de Europa [...]. Una pequeña parte de dicho aire se desliza sobre el Atlántico [...], calculándose para hoy [día 5] su llegada a Cataluña.

Desde Feliu de Guíxols pudo ser contemplado ayer el curioso fenómeno de una tromba de agua, que se formó cerca de Tossa y avanzó en dirección a Palamós. La enorme columna de agua de mar se alzaba hasta unos 100 metros, girando sobre su eje. Cruzó frente a la bahía guixolense y se deshizo entre cala Amatller y la punta del Mula, poco antes de llegar a San Pol. La curiosidad pública, mejor dicho, la expectación en todo aquel pobladísimo sector de nuestra Costa Brava fue enorme. Numerosos curiosos se trasladaron hasta la misma orilla de la mar para no perderse detalle. Los pescadores manifestaron que recordaban haber visto la formación simultánea de 7 trombas, pero nunca en lugar tan cercano a la costa. El inusitado fenómeno se produjo a últimas horas de la tarde. No se tienen noticias de daños ni desgracias personales.

²⁴*ABC*, 5/IX/1965, página 63: “Tromba de agua en San Feliu de Guíxols (Gerona)”: San Feliu de Guíxols, 4-IX: “Los habitantes de esta población pudieron contemplar el raro fenómeno de una tromba de agua, formada en la parte de Tossa, a escasos metros de la costa, y que fue ensanchándose al tiempo que corría en dirección a Palamós. La columna de agua se elevaba a más de 100 metros, con un movimiento giratorio y la superficie del mar, en un círculo que sobrepasaría los 50 metros, se hallaba completamente llena de vapor de agua [...]. Se rompió poco antes de llegar a la bahía de San Pol. El espectáculo atrajo la atención de miles de personas y fueron docenas las que se trasladaron rápidamente a lugares cercanos al mar, desde donde pudieron apreciar la magnitud de la tromba... Los pescadores y marineros recuerdan haber visto hasta la formación de siete trombas en una misma hora, pero nunca en un lugar tan cercano a la costa”. Cífa.



Figura 4. Trayectoria de la tromba marina de Sant Feliu de Guíxols (2/IX/1965) y sus características según los testigos.

Efectivamente, la fecha real en que se formó el remolino, conocido como “la tromba” de Sant Feliu de Guíxols, fue el 2 de septiembre. Según testigos su duración fue de unos 35 minutos, y su trayectoria de unos 2 km y muy próxima a la población. La tromba se generó hacia las 15:30 h y deambuló por la costa de Sant Feliu, entrando por la punta del Garbí hasta las Sofreras y punta del Molar, dando tiempo a curiosos a buscar la cámara fotográfica para inmortalizarla. Más de 80 fotos, algunas en color, así como un video de 2 minutos recogió el activista cultural y fotógrafo guixolense Jordi Ferrando para la conmemoración del 50 aniversario de la tromba²⁵. Parece que tocó tierra aunque sin desperfectos y se llevó arena de la playa (Gayà, 2015). Según las imágenes la tromba tenía de 800 a 1000 m de altura y una anchura en su base de unos 100 m.

Aunque hay referencias de trombas y tornados de finales del siglo XIX la tromba de Sant Feliu representa un punto de inflexión en los estudios de estos fenómenos en Cataluña pues se considera la primera manga marina fotografiada, que además adquirió difusión internacional, ya que un turista holandés que la fotografió le dedicó una comunicación en la revista científica *Hemel en Dampkring*²⁶. Además su silueta sirvió para ilustrar al capítulo “torbellinos marinos” del libro *Las Tormentas* de Whipple.²⁷

Se dijo que la tormenta que engendró la tromba venía del sur, y que era la misma que previamente en Lloret de Mar había ocasionado algún desperfecto en mobiliario urbano. Probablemente no fue la misma célula tormentosa, pues los daños habrían sido causados probablemente por las corrientes descendentes propias de la fase madura de un cumulonimbo. Es más probable, que la corriente de salida del aire frío de la tormenta reforzara un misociclón de la línea de convergencia costera, que a su vez desarrollaría una nueva célula convectiva, que acabaría transformando el misociclón en la tromba marina.

La tromba se desarrolló tras una fuerte irrupción fría, que es el escenario que se repite en muchos de los estudios precedentes sobre las trombas en esta zona. En los mapas sinópticos correspondientes a los análisis de superficie y de 500 hPa de las 12 UTC del 2 de septiembre del *Boletín Diario del Servicio Meteorológico Nacional*, que se muestran en la figura 5, se puede apreciar en el mapa de 500 hPa la existencia de una bolsa de aire frío de hasta -24 °C (-26 °C registra el radiosondeo de

Zaragoza el día 2 a 00 UTC en 500 hPa), un frente frío hacia el mar de Liguria, y viento del noroeste. Junto a las nevadas en los Pirineos en la información general del Boletín indicaba: “*Durante el día (de 7 a 19 horas) continuaron las precipitaciones en el Cantábrico, principalmente en su mitad oriental, donde fueron de carácter tormentoso y en el área del alto Ebro. En Cataluña y Baleares se registraron precipitaciones débiles y aisladas. Se produjeron nevadas en su mayor parte en el Pirineo y cordillera Cantábrica. En el resto de las regiones la nubosidad fue de evolución diurna*”. Las cantidades de precipitación registradas este día fueron muy irregulares: 32 mm en Barcelona-Fabra, 1 mm en Barcelona-Centro, inapreciable en Barcelona Aeropuerto; 26

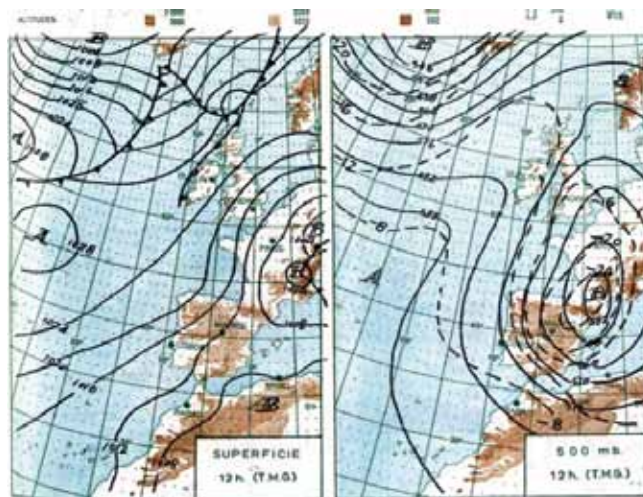


Figura 5. Izquierda: Análisis de la presión a nivel del mar (en hPa) y frentes; derecha: análisis de la altura del geopotencial (dm) y de la temperatura en 500 hPa (°C), de las 12 UTC del día 2/IX/1965. Fuente: Boletín Diario del Servicio Meteorológico Nacional.

mm en Cap de Begur, 28 mm en La Bisbal d'Empordà, mientras no llovió en Figueres o en Girona.

En los mapas de la figura 6, del reanálisis ERA20C²⁸ de las 15 UTC, se observa que en los niveles de 925 a 700 hPa, la advección fría aún está presente sobre el mar (el viento gira anticiclónicamente con la altura) pero ha cesado sobre la costa gerundense. Sin embargo se mantiene junto a la superficie en toda la Costa Brava. Aunque el reanálisis de superficie muestra un dipolo orográfico en el campo de la presión, con bajas presiones sobre Cataluña y debilitamiento del viento del NO en la provincia de Girona, no tiene la resolución suficiente para reflejar la realidad del dipolo, que en casos de flujo no intensos induce vientos de sur y sudeste en la costa central de Cataluña y sur de la Costa Brava, lo que crea una línea de convergencia en el litoral. En este caso los datos de viento en los partes *synop* de las 12 UTC eran: Aeropuerto de Girona: dirección 130°, e intensidad 6 kt; Barcelona: 230°, y 4kt; y Aeropuerto de Barcelona: 290° y 8 kt. Es notoria la diferencia entre la trayectoria de la tromba y la dirección del viento en los niveles medios de la troposfera lo que indica el papel primordial de la zona de con-

²⁵<http://latrombadel65.blogspot.com.es/>

²⁶Blokland, D. E.: En imposante hoos aan de Costa Brava. *Hemel en Dampkring*, vol. 63, n.º 12, La Haya, 1965, pp. 348-349.

²⁷Whipple, A.B.C: *Las Tormentas*. Editorial Planeta. Barcelona. 1987

²⁸<http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-20c>

Las Trombas Marinas de Sant Feliu de Guíxols (2/IX/1965) y Málaga (8/III/1971):

vergencia junto a la superficie en la trayectoria de la tromba y el papel secundario de la nubosidad.

Por lo demás el radiosondeo de Palma de Mallorca de las 12 UTC (no mostrado) no presenta valores extremos en los índices de inestabilidad que se suelen usar para evaluar la flotabilidad de la columna de aire. Además confirma los vientos del reanálisis, y una helicidad²⁹ modesta como suele ocurrir en la mayoría de fenómenos tornádicos de Cataluña (Ramis et al, 1998³⁰, o Rodríguez, 2014³¹)

A continuación hacemos una aproximación rudimentaria a la intensidad de la tromba marina basándonos en las fotografías de que disponemos:

Se puede estimar como dimensión vertical de la tromba la altura del nivel de condensación obtenida del sondeo de Palma: 1244 m. A partir de este dato, se puede extraer de la fotografía el tamaño aproximado del radio del círculo de agua pulverizada de la foto, unos $r_p = 135$ metros (figura 8).

Figura 6. Arriba: viento en superficie (banderas), presión al nivel del mar (azul) y temperatura a 2m (rojo, a trazos); abajo: banderas de viento en 925 hPa (verde, aunque con frecuencia ocultas tras las rojas), en 850 hPa (rojo) y en 700 hPa (azul). Reanálisis del ERA20C para las 15 UTC del 2 de septiembre.

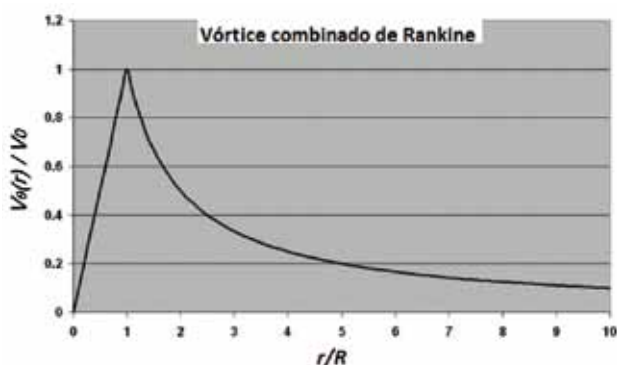
El viento mínimo para pulverizar el agua se considera unos 18 m/s. Es decir que podemos considerar que ésta era la velocidad tangencial del viento a 135 m del eje del tornado.

En un tornado, en primera aproximación, la variación del viento tangencial con el radio se puede aproximar por el denominado vórtice combinado de Rankine (figura 7):

$$V_{\theta}(r) = \frac{V_0 r}{R} \quad (r < R); y$$

$$V_{\theta}(r) = \frac{V_0 R}{r} \quad (r > R); \quad (1)$$

siendo R el radio del viento máximo V_0 (figura 11).



Para $r > R$ las partículas rotan acelerando su velocidad tangencial conforme se acercan al eje del tornado según la conservación del momento angular.

Para $r < R$ la columna se comporta radialmente como un sólido rígido, lo que implica que las partículas tienen una velocidad de rotación homogénea, una velocidad tangencial que disminuye linealmente con el radio, y no pueden desplazarse radialmente; su único grado de libertad es el desplazamiento vertical. Así podemos estimar el radio de vientos máximos donde el perfil de la zona de gotitas pulverizadas se vuelva vertical. En este caso hemos tomado el radio R como de unos 65 m.

Con los valores estimados se puede tener una idea de V_0 , aplicando el modelo de Rankine, que sería de unos 37 m/s. El límite superior de los tornados EF0 (*Escala de Fujita Mejorada*; EF³²) es 38 m/s. Considerando, 1º) que la zona de agua pulverizada en superficie podría ser algo mayor, pues en la foto aparece detrás de un espigón; 2º) que el modelo de Rankine es solo una aproximación, pues además existe viento radial que hace que el máximo de viento sea mayor y esté en realidad a mayor distancia que R; 3º) que hay que sumar la velocidad de traslación en flanco derecho (izquierdo), si es ciclónico (anticiclónico), aunque según la imagen hay bastante simetría en los niveles bajos lo que significa una velocidad de desplazamiento pequeña del vórtice a lo largo de las costa; 4º) que puede haber tenido mayor intensidad en otro momento; es muy probable que la tromba marina alcanzara vientos de un EF1.

²⁹La helicidad es un parámetro que mide la naturaleza "sacacorchos" del viento, o sea el grado en que la dirección del viento es perpendicular a la variación del viento con la altura, o sea perpendicular a la cizalladura vertical del viento.

³⁰Ramis, C., López, J.M. and Arús, J. (1999): Two cases of severe weather in Catalonia (Spain). A diagnostic study, *Meteorological Applications*, 6(1), pp. 11–27

³¹Rodríguez, O., 2014: Sounding-derived parameters associated to tornadic storms in Catalonia <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/59952/1/TFG-Rodríguez-Ballester-Oriol.pdf>

³²McDonald, J.,; K. C. Mehta, 2006: A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale (EF-Scale). Lubbock, Texas: Wind Science and Engineering Research Center.

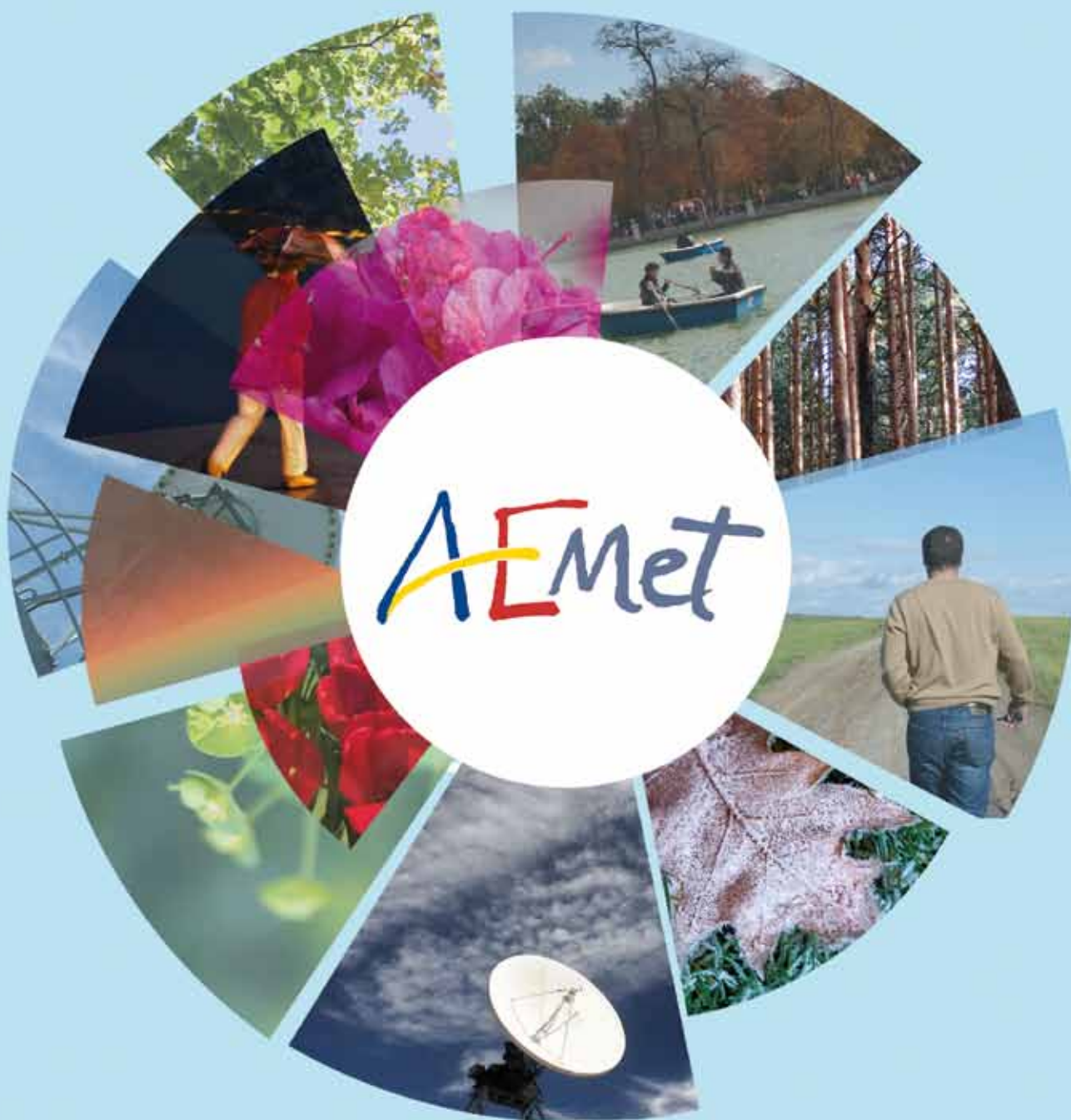


Figura 8. Fotografía de la tromba marina de Sant Feliu de Guíxols con las dimensiones usadas en el texto.

Figura 7

POR DELANTE DEL TIEMPO

www.aemet.es



Mucho más que
una predicción...